METODOLOGIA Y ENFOQUE DE TRABAJO

1. INTRODUCCION

1.1 Contexto

Bogotá, cuenta actualmente como red estructurante de transporte, un sistema de Bus Rapid Transit-BRT (TransMilenio) que se encuentra saturado en varios tramos. El desarrollo de una línea de metro, ha sido un tema de discusión desde hace varias décadas, llevando a la realización de varios estudios para su definición.

En 2010 en el documento CONPES 3677 se definió como parte de la política del Gobierno Nacional para participar en el desarrollo integral de la movilidad de la Región Capital Bogotá – Cundinamarca las propuestas del SITP, TransMilenio, Primera Línea del Metro (PLMB) y Tren de Cercanías. Por lo anterior, fue desarrollado el estudio de Ingeniería Básica Avanzada para la PLMB, el cual terminó en marzo 2015, llevando al diseño de la Primera Línea de Metro de Bogotá. Con el fin de optimizar tal diseño, incluir una restricción presupuestal recién establecida, considerar las últimas evoluciones monetarias y tomar en cuenta el programa del nuevo gobierno local, se incorporó al Convenio Interadministrativo n°1880 los estudios necesarios para optimizar los diseños de la PLMB y analizar su ejecución por tramos. La parte (i) de la fase 2 del Convenio n°1880 tiene como objeto el tema de la presente consultoría.

1.2 Objetivo

El objetivo del estudio es analizar alternativas de tipologías y ejecución de tramos para optimizar el diseño original. Incluye la integración de cada tramo y subtramo en el ámbito urbano y averigua el interés de la oportunidad de construcción por tramos. Se acompaña de la preparación de los estudios técnicos, económicos, financieros, administrativos y de planificación para las siguientes etapas del proyecto, focalizándose en el primer tramo para realizar.

1.3 Enfoque Técnico – Nuestra visión del estudio

Para la ejecución del estudio nos parece esencial tener los siguientes 4 enfoques:

1. Tratamiento de cuatro niveles de aprehensión

El tratamiento de los **cuatro niveles de aprehensión** abajo listados se hace de manera **integrada** en cada etapa del estudio. El análisis por nivel es un **análisis iterativo y complementario hasta llegar al éxito del proyecto:**

a) **Nivel global de la ciudad y de su red de transportes**: Busca la integración de la PLMB en el ámbito urbano y de movilidad de Bogotá a partir de la identificación de las necesidades a las que debe responder el proyecto y de las oportunidades a aprovechar.
b) **Nivel de corredor**: Busca la integración de la PLMB en su ámbito urbano inmediato, la determinación del impacto y su tratamiento urbanístico y paisajístico y la identificación de las estrategias de implantación.
c) **Nivel de trazado o de zonas de atracción de cada estación**: Busca la ubicación precisa de las estaciones en el entorno como lugares de intercambio modal y ser las primeras vitrinas del sistema para el viajero.
d) **Nivel de estación**: Busca la definición funcional de cada estación específicamente para responder a sus retos técnicos y para cumplir con la integración intermodal deseada.

2. Importancia del tratamiento urbanístico y paisajístico, así como la integración modal, especialmente con SITP, TransMilenio y Bicicletas

Es imprescindible demostrar que los metros elevados pueden con una buena arquitectura y manejo del paisajístico mitigar los impactos urbanos. SYSTRA tomará en cuenta en sus reflexiones la adecuación entre el sistema y los retos urbanos inmediatos y extendidos, para **llegar a un sistema desarrollado en integración completa** con el resto de la ciudad.

3. Búsqueda de una optimización

El estudio busca la optimización técnica y económica del proyecto. SYSTRA tendrá como objetivo **llegar a la mejor versión del proyecto** desde el punto de vista calidad-precio. Más allá de una optimización puramente matemática, SYSTRA buscará el óptimo en cada fase del estudio, **siempre respetando la**

esencia del sistema en cada uno de sus componentes, así como en procura de **los objetivos clave de la FDN, la Alcaldía de Bogotá y de la Gerencia del Proyecto**.

La optimización por supuesto significa también la **integración con los otros modos (SITP y TransMilenio)** y la optimización del **manejo de tráfico durante y después de la construcción y el impacto en las redes de servicios públicos.**

4. SYSTRA es un experto técnico, pero también un asesor y acompañante

Aunque los actores locales tienen varios años evaluando el proyecto, SYSTRA seguirá una dirección no solamente de experto técnico sino también de asesor y acompañante a la FDN, la Gerencia del Proyecto y los demás actores locales con el objeto que finalmente se logré un diseño que sea viable para la realidad de la ciudad. Ayudará al entendimiento correcto de los retos técnicos y en la presentación didáctica de los componentes del sistema a los actores correspondientes.

SYSTRA seguirá estos 4 enfoques de manera integrada a lo largo del estudio.

2. METODOLOGIA

2.1 Nuestra metodología de un vistazo…

Análisis de estudios, informes y documentos anteriores
Estudio de experiencias internacionales en metros elevados
Recomendaciones para Bogotá
Definición del nodo de terminación
Resúmenes sobre los componentes del sistema metro, les interfaces y las asuntos urbanos, comerciales y económicos asociados
Demanda de pasajeros
Aspectos ambientales
Oferta del servicio
Análisis preliminar por alternativas
Aspectos eco. y sostenibilidad fin.
Aspectos territoriales y urbanos
Aspectos constructivos
Otros criterios
Análisis de sostenibilidad financiera en la operación del desarrollo por tramos de la PLMB
Análisis multicriterios de alternativas de corredores
Recomendación sobre la alternativa que mejor optimiza el diseño existente
Recomendaciones para la tipología elevada del tramo 1 de la alternativa seleccionada
Aspectos urbanísticos y paisajísticos
Análisis conceptual de soluciones para estaciones elevadas
Recomendaciones para el caso de Bogotá (estudio de exp.intern.)
Beneficios económicos de opciones de inversión frente al trazado original
Estimación de cronograma y presupuesto
Elaboración de la documentación técnica para el borrador del documento CONPES + Informe final

Nuestra metodología de un vistazo



2.2 …con la estimación de cronograma correspondiente (futuro entregable N°1 con el plan de trabajo)

	Mese 1	Mese 2	Mese 3	Mese 4	Mese 5	

Entregables

- Suscripcion del acta de inicio del contrato
- N°1 Plan de trabajo y cronograma (dentro de los 10 dias siguientes a la firma de acta)
- N°2 Informe de experiencias internacionales
- N°4 Recomendaciones para la tipologia elevada
- N°3 y N°6 Estudio de alternativas y Analisis de sostenibilidad financiera
- N°5 Beneficios economicos
- N°7 Estimacion de cronograma y presupuesto
- N°8 Documentacion tecnica de soporte para el borrador de documento Conpes
- N°9 Informe final
- Reunion de enfoque y visitas de campo

Actividad 1. Resumenes

Resumenes sobre los principales componentes tecnicos del sistema Metro, las interfaces y los asuntos urbanos, comerciales y economicos asociados

Seminarios/Entregable 1 bis

Actividad 2. Estudio de experiencias internacionales en metros elevados y recomendaciones para el caso de Bogota

Analisis comparativo de 5 lineas de metros pesados elevados en el mundo (integracion urbana y con otros modos, manejo del ruido y vibraciones, manejo del trafico y las redes de servicios publicos durante la construccion incluidos)

Recomendaciones sobre los lineamientos urbanisticos y paisajisticos, y las formas de applicacion al caso propio de Bogota

Comité directivo

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°2

Actovidad 3. Estudio de alternativas para optimizar el diseno de la PLMB

Definicion del nodo de terminacion del tramo 1 (opciones, valoracion de demanda, evaluacion de la operacion de transbordos, analisis del segmento de transicion requerido, analisis de la continuidad de la linea, estudio de la cola de maniobras, otras recomendaciones...)

Analisis multicriterio de las alternativas de optimizacion de los tramos 1&2 y subtramos de la PLMB (identification y caracterizacion, evaluacion de demanda, evaluacion del nivel de saturacion, ejecucion del proyecto en tramos operativos, analisis de las tipologias, valoracion urbanistica y paisajistica, valoracion de las afectaciones prediales, estimacion economica y financierade las alternativas, recomendaciones sobre la mejor alternativa de la PLMB y sobre la localizacion de une eventual zona de transicion de elevado a viaducto, ventajas/desventajas de la ejecucion por tramos, aspectos ambientales, constructivos y otros)

Seminario

Comité directivo

Revision, ajuste y aprobacion de los entregables N°3 y N°6

Actividad 4. Recomendaciones para la tipologia elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada

Memoria descriptiva con el analisis de recomendaciones para las diferentes divisiones tipologicas que se determinen (tramos tipicos, areas de estaciones, puntos particulares, nodo de terminacion del Tramo 1...)

Esquemas basicos urbanisticos, planos en planta y secciones transversales de las recomendaciones

Analisis y conclusiones sobre las opciones de accesos a las estaciones elevadas

Comité directivo

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°4

Actividad 5. Beneficios economicos de opciones de inversion frente al trazado original

Definicion de la metodologia y de los indicadores

Desarrollo de los escenarios a considerar (base+1)

Valoracion de cada uno de los escenarios y realizacion de un analisis comparativo

Analisis de ventajas/Desventajas del desarrrollo de la PLMB por tramos

Comité directivo

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°5

Actividad 6. Estimacion de cronograma y presupuesto

Tramificacion propuesta para la PLMB

Definicion de un cronograma general de ejecucion por tramos

Presupuesto preliminar por tramos y plan de inversiones

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°7

Actividad 7. Elaboracion de la documentacion tecnica de soporte para el borrador del documento CONPES

Elaboracion del borrador con los capitulos usualmente requeridos

Evaluacion de los beneficios generados por los cambios que se pueden hacer al diseno

Plan de ejecucion por fases de inversiones de corto/mediano y largo plazo

Comité directivo

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°8

Actividad 8. Informe final: compilacion y resumen ejecutivo

Revision, ajuste y aprobacion del entregable N°9

Reunion de clausura

2.3 Actividad 1: resúmenes (entregable N°1 bis)

En introducción al estudio, SYSTRA propone preparar para la FDN y de la Gerencia del proyecto **resúmenes ejecutivos pedagógicos ("overviews")** sobre los principales componentes técnicos del Sistema Metro: material rodante; infraestructuras; estaciones; sistemas y sub-sistemas: vía, energía, E&M, ATC etc.; seguridad; depósito, etc.

Cada resumen, en formato PowerPoint, tendrá la siguiente estructura y se estará presentado a lo largo de **seminarios de corta duración con el objetivo de compartir el mismo nivel de información y comprensión de la problemática entre todos los involucrados, en búsqueda de encontrar acuerdos sobre los aspectos técnicos con la FDN y la Gerencia del Proyecto de una manera rápida y sustentada:**

- **Características:** definición de un sistema de transporte, a partir de los requisitos de más alto nivel (oferta, calidad de servicio, criterios de seguridad), sin anticipar los detalles de las tecnologías preferidas)
- **Panorama de las tecnologías modernas usadas en el transporte urbano:** características dinámicas, de conforte y de interoperabilidad de los trenes; principios y capacidad de los sistemas modernos de señalización; funciones de los ATS (Automatic Train Supervisión) en relación con el CBTC; eficacia energética de la energía tracción; principios fundamentales de explotación de mantenimiento, etc.
- **Estrategia de "packaging"**: Determinación de las interfaces internas y externas de los lotes técnicos y contractuales
- **Referencias:** Buenas prácticas para seguir en ámbitos similares al caso de Bogotá
- **Interfaces** entre los componentes del sistema Metro y con el ámbito urbano
- **Anticipación de la capacidad máxima del futuro sistema de transporte:** a partir de los estudios preliminares se observa que la capacidad necesaria de la línea podría subir hasta 80,000 pphpd
- **Ventajas/desventajas**
- **Asuntos generales asociados**
- **Tipologías de viaductos:** se considera vital realizar seminarios ejecutivos con los actores que puedan tomar decisiones ágiles sobre los distintos tipos de viaducto en el mercado, ya que estos pueden variar mucho en funcionalidad, estructura, métodos de construcción, acústica, estética y costo. Como se indica en el numeral 2.4 en relación al estudio de experiencias internacionales, se puede observar que SYSTRA ha realizado un alto número de líneas de metro elevado en viaductos (más de 250 km en los últimos 20 años). En concreto SYSTRA posee varias patentes del conocido "Viaducto en U" instalado en los metros más importantes del mundo. Por ello se propone realizar un seminario sobre los diferentes tipos de viaducto en el que también intervendrá el departamento de innovación de SYSTRA, para que presenten los beneficios de los diferentes tipos de viaductos y las evoluciones que se están estudiando en estos momentos para seguir optimizándolos.
- **Ideas y conclusiones sobre las recomendaciones para el caso de la PLMB de Bogotá.**

2.4 Actividad 2: estudio de experiencias internacionales en metros elevados y recomendaciones para el caso de Bogotá (entregable N°2)

2.4.1 Análisis comparativo de 5 líneas de metros pesados elevados en el mundo

SYSTRA realizará un estudio de experiencias internacionales en metros elevados. El objetivo de este estudio es **calificar el impacto de los metros elevados en el mundo**, es decir su integración en su entorno cercano y expandido. Se trata de calificar tanto el tratamiento del ruido y de las vibraciones, que son de impacto cercano, como el tratamiento urbanístico, paisajístico, arquitectónico y constructivo, que aunque también son de impacto cercano, evidentemente impactan la ciudad en su globalidad.

SYSTRA pre-seleccionará algunos ejemplos de líneas de metro 100% elevadas o que cuentan con tramos elevados. SYSTRA propondrá como ejemplos sistemas y líneas de metros en zonas metropolitanas de características parecidas a Bogotá, que por su riqueza aportarán enseñanza, bien sean exitosas o falladas.

SYSTRA seleccionará ejemplos cubriendo los temas siguientes:

- **Nivel de prestación del servicio**: Velocidad; cantidad de pasajeros; servicios; seguridad, etc.
- **Tratamiento de ruido y vibraciones**: Soluciones técnicas de manejo tales como muros anti-ruido, rudas neumáticas, etc.
- **Integración con la red de transporte de la ciudad y urbanismo**: Tratamiento de cambios modales, impacto en la movilidad a nivel de la ciudad y de su zona de influencia, etc.
- **Estético ("WOW factor"):** Diseño de las estaciones, inserción del viaducto y de las plataformas, pantógrafos escondidos, diseño e inserción del taller, etc.
- **Integración física e impacto constructivo:** Impacto predial, ambiental, social, soluciones físicas de integración, etc.
- **Costo, ingresos comerciales y alternativas de financiamiento**: Tarifas, Nombre de Estaciones, ATM, participación de los concesionarios en telecomunicaciones, librerías etc.
- **Otros.**

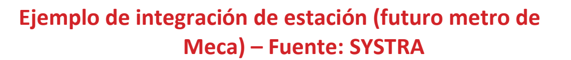


Ejemplo de tratamiento de ruido en viaducto con mures anti-ruidos– Fuente: SYSTRA

A continuación algunos ejemplos de líneas de metro que se podrían estudiar:

- **Santiago de Chile, línea 4 en particular (Systra diseño)**
- **Dubái Red line (Systra diseño)**
- **Delhi, línea 3 (Systra diseño)**
- **París, línea 2 y nuevas líneas "Grand Paris Express" (Systra diseño) en particular**
- **Bangalore MRT**
- **Manila LRT3 (Systra diseño)**
- **Hanói (Systra diseño)**
- **Meca (Systra diseño)**
- **Medina (en proyecto; Systra diseño)**
- **Panamá (Systra diseño)**
- **Rio de Janeiro**
- **São Paulo**
- **Singapur**
- **Experiencias recientes en la región**





Ejemplo de integración de estación (futuro metro de Meca) – Fuente: SYSTRA



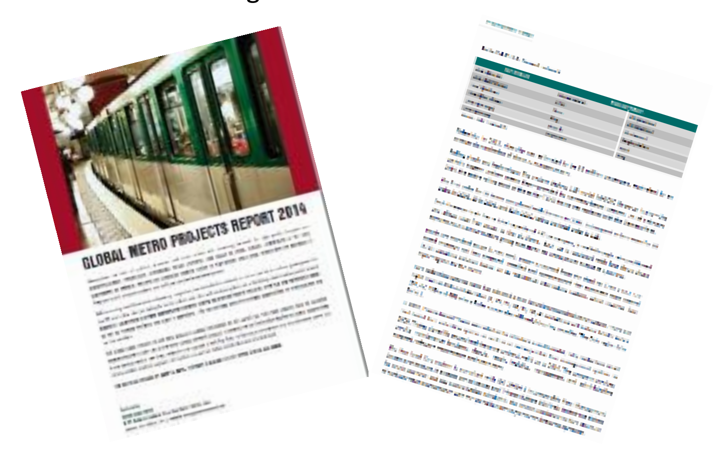
Ejemplo de "viaducto en U" – tecnología y patente SYSTRA (metro de Dubái) – Fuente: SYSTRA

Para la selección de las 5 líneas a analizar se propondrá una argumentación apropiada al contexto y a los retos de la movilidad en Bogotá. Esta selección será discutida con la FDN y la Gerencia del proyecto Metro, para selección final.

Los temas estudiados pondrán en evidencia sus particularidades interesantes para el caso de la PLMB. En ese sentido como se ha mencionado, la lista de características específicas a profundizar será seleccionada en conjunto con la FDN y la Gerencia del proyecto Metro, a partir de una ficha de características elaborada por SYSTRA para cada línea estudiada, resaltando los elementos más

relevantes a considerar en cada línea para el caso de la PLMB, según la validación hecha al momento de seleccionar cada experiencia.

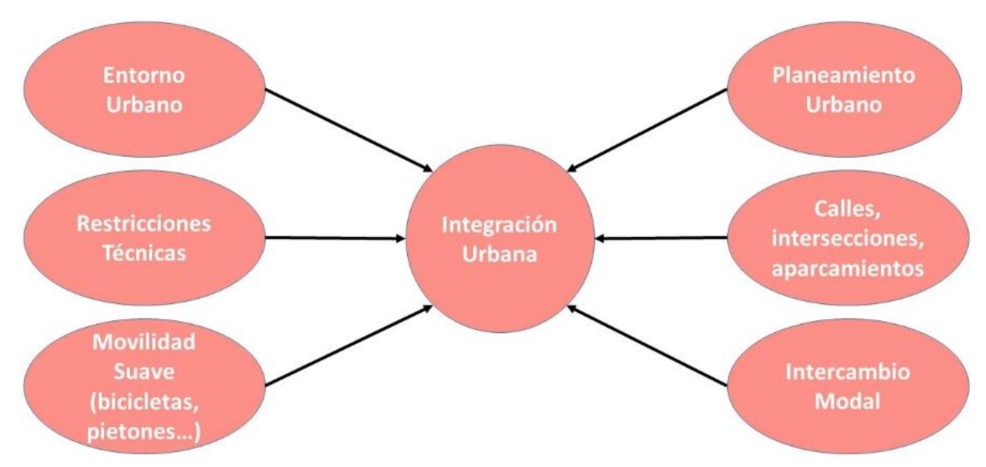
Finalmente, se hará una memoria resumen de las características estudiadas y de las lecciones aprendidas para aplicarlas al caso de Bogotá.



Global metro projects report 2014, con numerosos proyectos diseñados por Systra: Un sistema de metro de cada dos en el mundo realizado con la participación de SYSTRA

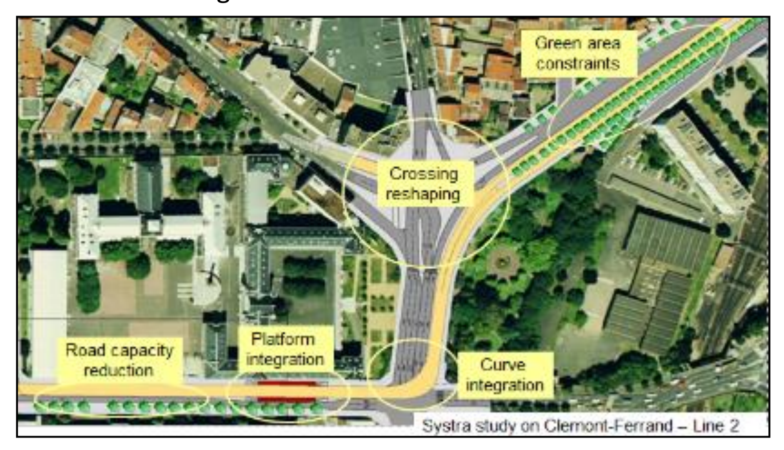
2.4.2 Recomendaciones sobre los lineamientos urbanísticos y paisajísticos y las formas de aplicación al caso propio de Bogotá

Después del análisis comparativo del punto anterior, SYSTRA recomendará los **lineamientos urbanísticos y paisajísticos que se deberán tener en cuenta para los tramos elevados del metro de Bogotá**, así como otras recomendaciones generales para aplicar el futuro diseño de las soluciones en viaducto, de acuerdo con las condiciones prácticas y normativas de la ciudad.
Los siguientes componentes serán identificados, por cuanto constituyen son factores claves para lograr una adecuada inserción urbana:



Lineamientos urbanísticos – Fuente: SYSTRA

Además los tipos de interacciones siguientes serán identificados:



Restricciones Técnicas a considerar para mejor inserción urbana – Fuente: SYSTRA

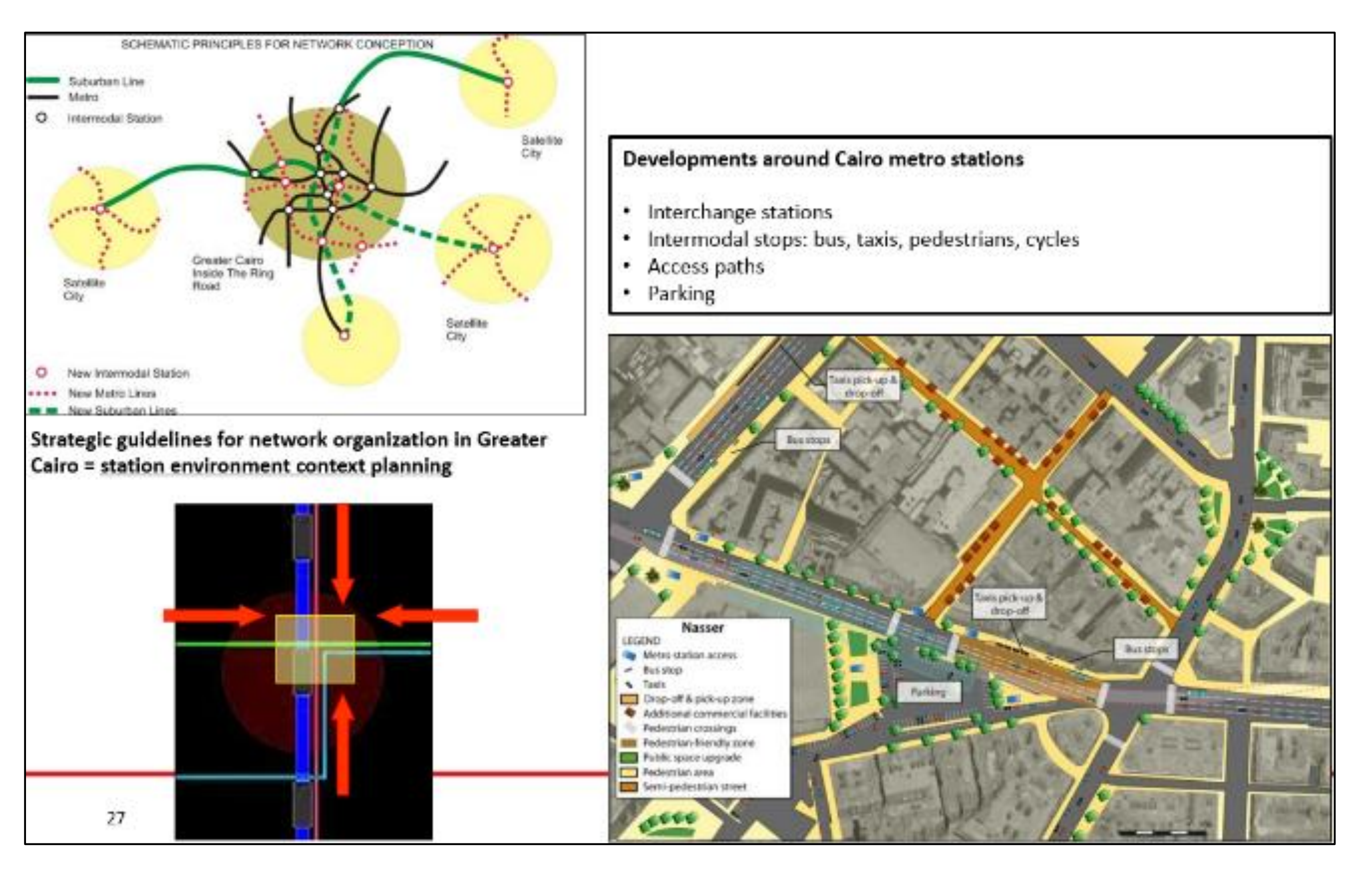
2.5 Actividad 3: estudio de alternativas para optimizar el diseño de la PLMB (entregables N°3 y N°6)

2.5.1 Definición del nodo de terminación del Tramo 1 e integración modal especialmente con SITP, Transmilenio y modos no motorizados (bicicletas)

Después de algunas visitas de campo, del análisis de los informes y estudios recientes, documentos anteriores, presentados en el anexo 1 de los términos de referencia, y todos los documentos de planificación de la movilidad existente (i.e.: documento CONPES 3677, Plan Marco de TransMilenio, Plan de Movilidad de Bogotá, Tren de Cercanía-Metro Ligero Urbano Regional), SYSTRA desarrollará las siguientes subactividades:

- **Identificará las opciones del nodo de terminación** (punto extremo oriental final del Tramo 1)
- **Cuantificará la demanda**
- **Evaluará la operación de transbordos** que se puede dar en el nodo de terminación con el resto de modos
- **Analizará el segmento de transición requerido para continuar hacia el norte de la ciudad,** en sus aspectos técnicos, funcionales, operacionales, prediales y económicos
- **Evaluará la adecuada continuidad de la línea de metro hacia el norte de la ciudad,** garantizando la independencia de la operación del Tramo 1 (ventajas/desventajas)
- **Estudiará la cola de maniobras al final del Tramo 1,** también desde los puntos de vista técnicos, funcionales, operacionales y económicos

Además, en coherencia con los lineamientos urbanísticos recomendados en la actividad 2, **un programa de integración modal con modos especialmente SITP, TransMilenio y modos no motorizados (bicicletas) va a ser preparado.**



Metro del Cairo - diseño de SYSTRA: ejemplo de programa de integración modal al nivel de estación



Intermodalidad Tranvía / Autobús (Paris)

Intermodalidad Bicicleta / Peatón / Autobús Expreso / Autobús / Metro (Beijing)





Metros de Beijing y Paris – Diseño de SYSTRA: ejemplo de un programa de integración modal – Fuente: SYSTRA

Las conclusiones y recomendaciones sobre el nodo de terminación óptimo, servirá para alimentar el análisis multicriterio de las alternativas de optimización del diseño final que se proponga, como se describe a continuación.

2.5.2 Análisis preliminar de alternativas y análisis multicriterio de las alternativas de optimización de los tramos 1 y 2

2.5.2.1 *Análisis preliminar de alternativas*

Un escenario base y tres alternativas están presentadas en el anexo 1 de los términos de referencia. Cada uno se compone de dos grandes tramos y de dos subtramos para el primer tramo. Como premisa para la selección de alternativas, en análisis de cada una y el proceso de selección se hará en conocimiento y de acuerdo con el contexto urbano y de movilidad de la ciudad.

En primer lugar, el análisis tomará en cuenta los análisis técnicos específicos para cada subtramo (estudios técnicos de su extensión en viaducto al subtramo completo; ubicación de transiciones elevado/subterráneo; elección de trazado más preciso), desarrollados en los estudios previos o complementarios a que hubiere lugar para responder a los criterios deseados por la FDN y la Gerencia del proyecto Metro, a saber:

- **Demanda de pasajeros - producida por el equipo técnico del Distrito**

A partir del análisis de la demanda de pasajeros, dependiendo de las diferentes alternativas de nodo de terminación y la evaluación del nivel de saturación de los modos complementarios a la PLMB (TransMilenio y SITP). Esta **actividad deberá hacerse en total armonía con el equipo del Distrito,** con el apoyo de SYSTRA para el buen desarrollo de la misma. SYSTRA por ejemplo propondrá los plazos del estudio de la demanda, a partir del análisis de informes, estudios y documentos existentes.

- **Oferta del servicio de transporte – identificada por SYSTRA a partir de la demanda**

Este análisis será cuantitativo, basado en los resultados de la demanda.

- **Aspectos territoriales y urbanos – identificados por SYSTRA a partir del análisis de estudios anteriores (incluyendo documentos de planificación de la movilidad, POT, etc.)**

Toma en cuenta el análisis de inter-modalidad para desarrollar en el nodo de terminación. También será consistente con la ejecución del proyecto en tramos operacionales según las diferentes opciones de división por tramos.

- **Aspectos ambientales – identificados por SYSTRA a partir del análisis de estudios anteriores**

Con base en los análisis realizados en los estudios anteriores de la PLMB, tanto lo referente al análisis de alternativas como el estudio de impacto ambiental realizado para línea base, así como la

normatividad vigente de Bogotá, se evaluarán los aspectos ambientales de las nuevas alternativas como parte de la matriz multicriterio.

Este análisis toma en cuenta la valoración urbanística, ambiental, social y paisajística de las alternativas de metro, la valoración del nodo de terminación para determinar su viabilidad funcional y las opciones de continuidad de la línea de metro hacia el norte de la ciudad.

Igualmente considera también temas claves como licencias y permisos, manejo de escombros, durante la construcción y la operación.

- **Aspectos económicos y sostenibilidad financiera – identificados por SYSTRA**

En cuanto a los aspectos económicos, SYSTRA realizará aquí el análisis de todas las alternativas estudiadas. Tomará en cuenta el presupuesto desagregado de la Ingeniería Básica Avanzada y al mismo nivel de detalle existente. Además, SYSTRA comparará y actualizará los mismos indicadores y precios unitarios existentes, con indicadores de su propia base de datos internacional, construidos a través de su extensa experiencia internacional. SYSTRA se concentrará en los indiadores de proyectos más cercanos al caso de Bogotá, basándose en proyectos latinoamericanos y recientes de Metro. Cada cambio en el presupuesto ya desarrollado en la Ingeniería Básica Avanzada será justificado con una argumentación específica de parte de SYSTRA.

El análisis cubrirá los costos de inversión, descompuestos en ejes temáticos, (incluyendo costos de predios, si la información a entregar por parte del Distrito lo permiten, y de legalizaciones), de operación y de mantenimiento. Estos costos estarán adaptados a la oferta calculada a partir de la demanda prevista, del tipo de material rodante necesario y del número de vehículos requeridos para responder a la demanda. Igualmente, basados en otros costos de operación y mantenimiento de proyectos similares, recientes y cercanos, adaptados al caso de Bogotá.

El análisis se profundizará para la alternativa que mejor optimiza el diseño existente, a nivel preliminar para el tramo 1 y para todos los tramos.

En cuanto a los aspectos de sostenibilidad financiera, SYSTRA realizará también el análisis de todas las alternativas de división del corredor por tramos.

El Distrito definirá la estructura tarifaria del sistema. Basándose en aquella estructura tarifaria, SYSTRA valorará los ingresos esperados para cada alternativa. Los ingresos estarán calculados dependiendo de las previsiones de la demanda. La valoración de ingresos está influenciada por:

- Las previsiones de demanda que dan la frecuencia para cada caso tarifario y la tarifa que permite más previsiones de demanda.
- Los estudios técnicos que dan el costo del proyecto (incluyendo costos de operación y de mantenimiento que dependen de la demanda), del cual se calcula la tarifa técnica que permite el balance económico.
- El análisis socio-económico que demuestra la tarifa socialmente aceptable.

SYSTRA dará sus recomendaciones a propósito de la tarifa, para llegar a la optimización adecuada.

La valoración de ingresos es un proceso iterativo entre las previsiones de demanda, los estudios técnicos y el modelo financiero del proyecto. Por tanto, para esta etapa, se tendrá que tener una comunicación cercana con la FDN, la Gerencia del Proyecto Metro y el equipo de Movilidad del Distrito para tratar aquellas iteraciones.

En cuanto a otros recursos de aporte a la sostenibilidad de la PLMB, SYSTRA se basará en su amplia experiencia internacional para proponer otros recursos posibles, que permitan capturar más valor económico. Aquellos recursos ayudan la sostenibilidad financiera del proyecto, tanto en la fase de concepción, como en la fase de construcción y de operación. El objetivo es capturar el valor desde un rango extendido de beneficiaros. Complementario a los ingresos comerciales (precio del billete), existen las opciones siguientes:

- Ingresos publicitarios (en estaciones, dentro y sobre los vehículos)
- Licencias de actividades comerciales, alquileres de comercios dentro de estaciones
- Station Naming (una marca da su nombre a la estación, devolviendo un alquiler en retorno)
- Servicios telecomunicaciones en las estaciones y en los túneles (los operadores de telecomunicaciones pagan para el desarrollo de su red de telecomunicaciones y su operación dentro de la infraestructura)

- Valorización y revitalización urbana
- Etc.

También empleadores y comercios a lo largo de la infraestructura del metro se van a beneficiar de la infraestructura (acceso más fácil a empleados, mejor visibilidad). En retorno, pueden contribuir al costo del transporte público, por medios obligatorios o voluntarios. Por ejemplo, pueden contribuir económicamente al costo del transporte en general de sus empleados y de los beneficiarios del subsidio de transporte, directamente con abonos en la PLMB o del SITP. Igualmente algún impuesto especial también puede ser estudiado.

De manera general, el valor de la tierra suele aumentar cuando se implementa una infraestructura de transporte público cerca. Un impuesto, una tasa o una contribución de mejora puede ser desarrollado para capturar el aumento de valor y promover la densificación inmobiliaria alrededor de las estaciones.

Otros ingresos que pueden ser generados y se plantea estudiar podrían ser:

- Por uso de autos privados (cargos por congestión, mayor sobretasa a la gasolina, etc.)
- Mecanismos de desarrollo sustentable, basado en el principio de contaminador-pagador

SYSTRA asesorará al cliente en la determinación de las alternativas financieras de ingresos para elegir y en la mejor manera de desarrollarlas.
Basado en los costos estimados del proyecto, los ingresos incluyen los ingresos comerciales tanto como los otros posibles recursos mencionados según el análisis que se haga. El modelo financiero, basado en los costos estimados, el total de los ingresos y las previsiones de demanda permitirán calcular el balance tarifario. Basándose en tal balance, SYSTRA valorará los procesos de mantenimiento y renovación para maximizar los beneficios del proyecto.
Los indicadores importantes del análisis de sustentabilidad financiera serán:

- Costo Bruto Operacional, EBITDA = Ingresos - Costos de Operación y Mantenimiento
- EBIT = EBITDA – Depreciación y Amortización
- Indicador Financiero: Valor Presente Neto y TIR

Los ingresos y las subvenciones públicas calculados dependerán de los costos a lo largo de la vida del proyecto. Todos los cálculos financieros tomarán en cuenta tasas de interés que pueden depender del actor al que se le aplican. SYSTRA ajustará la tasa de interés a cada actor participante en el proyecto, según sea el caso.

- **Aspectos constructivos – identificados por SYSTRA a partir de un análisis técnico específico para cada alternativa**

Tomando en cuenta el análisis técnico de la ejecución por tramos, SYSTRA, por medio de su amplio rango de expertos técnicos (incluyendo expertos en puentes y viaductos), realizará un análisis técnico general de las ventajas y desventajas de las infraestructuras para cada alternativa física y los puntos de relación entre tramos elevados y subterráneos, para poder recomendar la mejor alternativa técnica. Incluyendo en lo anterior el estudio técnico relativo a la cola de maniobras, así como el manejo de tráfico y redes de servicios públicos durante la construcción y la operación.

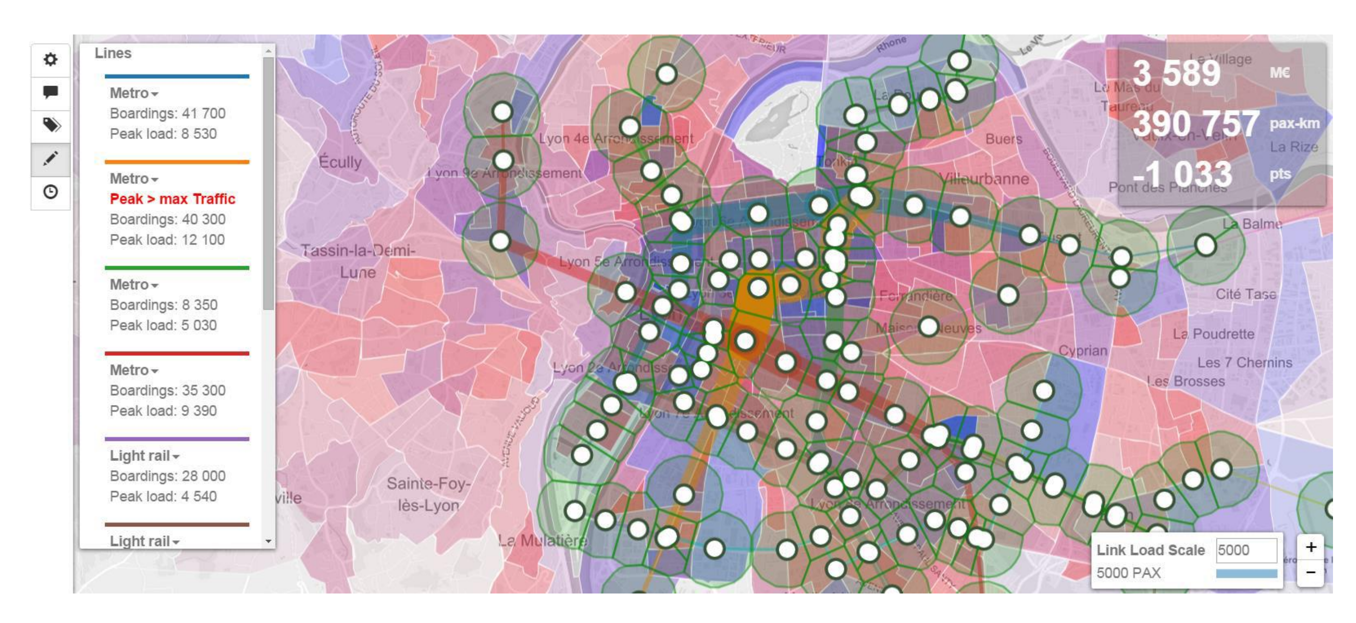
- **Otros criterios – para proponer por SYSTRA y validar con la FDN y la Gerencia del proyecto**

2.5.2.2 Análisis multicriterio y recomendaciones

Todos los criterios y su ponderación serán propuestos por SYSTRA y discutidos primero con la FDN y la Gerencia del proyecto Metro.

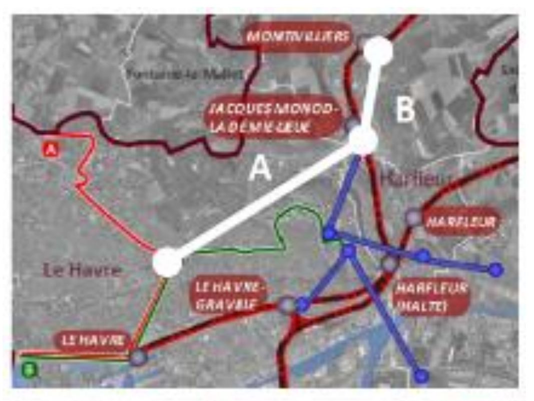
SYSTRA organizará un taller para compartir sus recomendaciones técnicas y ayudar los involucrados elegir la alternativa que mejor optimiza el diseño existente.

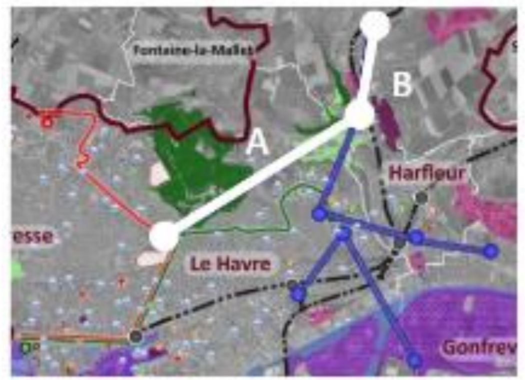
Durante el taller **SYSTRA utilizara su software de simulación Transim**, **que permite rápidamente y de manera interactiva testar alternativas, evaluar y elegir por fin el tramo óptimo desde el punto de vista de los tráficos generados y del costo en particular**. Para funcionar, este software necesitará por parte del Distrito informaciones relativas a la población y empleo.



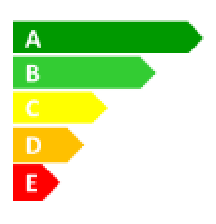
Transim, un software desarrollado por SYSTRA para evaluar alternativas de tramos – Fuente: SYSTRA

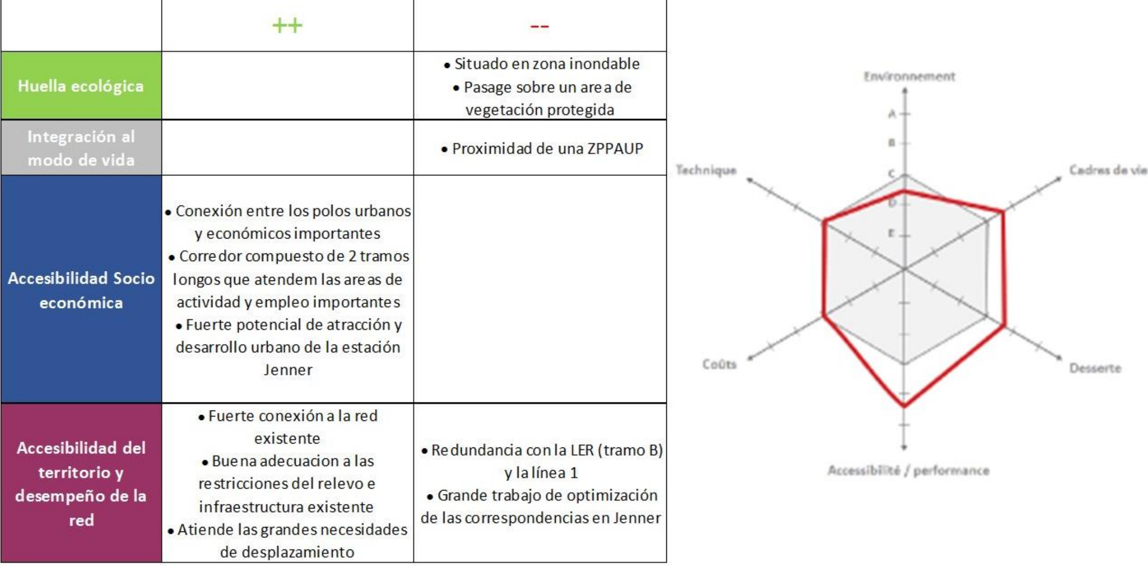
A continuación, ejemplos de análisis multicriterio en diversas experiencias desarrolladas por SYSTRA:





Accesibilidad y Desempeño			
Criterios	**Indicadores**	**Nota**	**Comentario**
Desempeño de la red de transporte existente	Intermodalidad del Transporte en Común	C	Redundancia de la línea 1 con la LER. Conexión con la LER y con los tranvías A y B
	Intermodalidad de los Modos Suaves (bicicletas, a pie)	A	Creación de un nuevo itinerario de bicicleta considerando las restricciones topográficas
	Ahorro de tiempo de los itinerarios	B	Ahorro de tiempo importante depende de optimización de la correspondencia cable / tranvía a Jenner
	Adecuación Oferta/Demanda	A	Atiende las grandes necesidades de desplazamiento
Accesibilidad del territorio	Alcanzo de los polos generadores de desplazamientos	B	Hospital, estación, interconexión entre las líneas de tranvía
	Respuesta a las restricciones del territorio	A	Buena adecuación a las restricciones del relevo, de la infraestructura ferroviaria de la LER y de la RD 488





	++	--
Huella ecológica		• Situado en zona inondable • Pasage sobre un area de vegetación protegida
Integración al modo de vida		• Proximidad de una ZPPAUP
Accesibilidad Socio económica	• Conexión entre los polos urbanos y económicos importantes • Corredor compuesto de 2 tramos longos que atendem las areas de actividad y empleo importantes • Fuerte potencial de atracción y desarrollo urbano de la estación Jenner	
Accesibilidad del territorio y desempeño de la red	• Fuerte conexión a la red existente • Buena adecuacion a las restricciones del relevo e infraestructura existente • Atiende las grandes necesidades de desplazamiento	• Redundancia con la LER (tramo B) y la línea 1 • Grande trabajo de optimización de las correspondencias en Jenner

Ejemplo de análisis multicriterio – Fuente: SYSTRA

2.6 Recomendaciones para la tipología elevada del Tramo 1 de la alternativa seleccionada (entregable N°4)

2.6.1 Memoria descriptiva con el análisis de recomendaciones para las diferentes divisiones tipológicas que se determinen

En esta etapa, SYSTRA realizará el análisis físico del tramo 1 de la alternativa que mejor optimiza el diseño existente en su totalidad: estaciones, tramos entre sí, nodo de terminación, cola de maniobras.

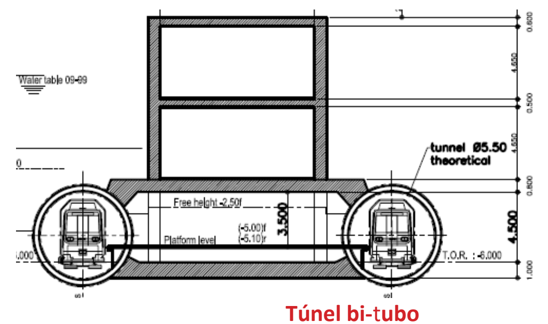
2.6.1.1 Aspectos urbanísticos y paisajísticos

Partiendo del análisis realizado al principio del estudio, en donde se desarrollarán los lineamientos generales para el tratamiento de los tramos elevados del metro, **SYSTRA preparará una guía de buenas prácticas para su integración (tramos típicos entre estaciones, áreas de estaciones, nodo de terminación y cola de maniobras del Tramo 1, y otros puntos del proyecto que se consideren de particular importancia), basado en las recomendaciones urbanísticas y paisajísticas. Las recomendaciones del estudio de experiencias internacionales serán directamente aquí aplicadas en el contexto de Bogotá.**

Para los sistemas metro, las soluciones constructivas impactan directamente el trazado. La integración de todos los elementos tomará en cuenta la definición iterativa de las soluciones constructivas por tramo, de manera que las estaciones y la ubicación que sean consideradas serán las que mejor se acondicionan al diseño, desde los diferentes puntos de vista, como las necesidades constructivas y por supuesto el mejor servicio posible a la demanda, entre otros.



Elevado



Túnel bi-tubo



Cut and Cover



Elevado en viaducto

Ejemplos de soluciones constructivas – Aspectos urbanísticos - Fuente: SYSTRA

Elevation Treatment : The glass – The vegetation – The facing of the elevation

A natural ventilation : comfort of the user

Directional blades of glass : maintainability

JM Tjibaou center (Nouméa) example of directional blades of glass : a great aesthetic quality

Elevation Treatment : The glass – The vegetation – The facing of the elevation

Robust support of vegetation

Metal carrying structure

Functional principle

Partition outside

Powerful natural insulation

Elevation Treatment : The glass – The vegetation – The facing of the elevation

Aluminium or Steel or Metal

Vegetation treatment

Directional Blades of glass

Example of metal perforated :

Center Files – France
Dan S. Hanganu Archi.

The elevations proposed :

An anaesthetic aspect

A good integration with local architecture

Easy maintenance

Durability in time

Ejemplos de soluciones constructivas- Metro Hanói Diseño Systra – Aspectos paisajísticos - Fuente: SYSTRA

SYSTRA lleva 50 años diseñando y supervisando la construcción de metros en viaducto y por tanto conoce todas las ventajas y desventajas de cada tipo de viaducto en el contexto de inserción urbanas de grandes ciudades.

SYSTRA a lo largo de sus años ha trabajado con las tecnologías más avanzadas, llegando a desarrollar una solución de punta para los tramos elevados. Esta tecnología, conocida como viaducto en "U" ha sido patentada en todo el mundo por SYSTRA. Con soluciones para vía simple o vía doble, este viaducto ha sido empleado por ejemplo en las líneas 4 y 5 de Santiago de Chile, Nueva Delhi (India), Shanghái (China), en la línea 1 del Metro de Panamá y muy recientemente en las nuevas líneas de Yakarta y Kuala Lumpur. Más de 200 km en el mundo han sido construidos con esta tecnología. Esta solución,

sin considerar el menor costo comparado a otros tipos de viaductos, muestra principalmente las siguientes características con relación a los aspectos urbanísticos y paisajísticos:

- Alta inserción urbana
- Estética: arquitectura llamativa (especie de hito urbano) y agradable a lo visual
- Acústica: La diferencia de altura entre los raíles y la parte superior del viaducto es mayor que en el resto de tipos de viaductos con lo que reduce sensiblemente el ruido que transmite a la población. Una pasarela de evacuación central ayuda igualmente a disminuir el ruido. Además, existen nuevas soluciones de reducción de ruidos (patente Systra: "Silent Track") que permiten una cualidad de vida en el entorno urbano muy alta
- Integración de los sistemas: se integran todos los sistemas de una manera consolidada al interior de la "U" y por tanto no son expuestos a la vista de los pasajeros y de la población

Como ya mencionado en el parágrafo 2.3, Systra propone realizar un seminario sobre los diferentes tipos de viaducto para que se presenten los beneficios de los diferentes tipos de viaductos considerando también los aspectos urbanísticos y paisajísticos y adaptándolos específicamente al contexto urbano de la ciudad de Bogotá y del tramo 1. Se presentará entre otros, los beneficios del "Viaducto en U", sin que esto sea una camisa de fuerza para el desarrollo del estudio.

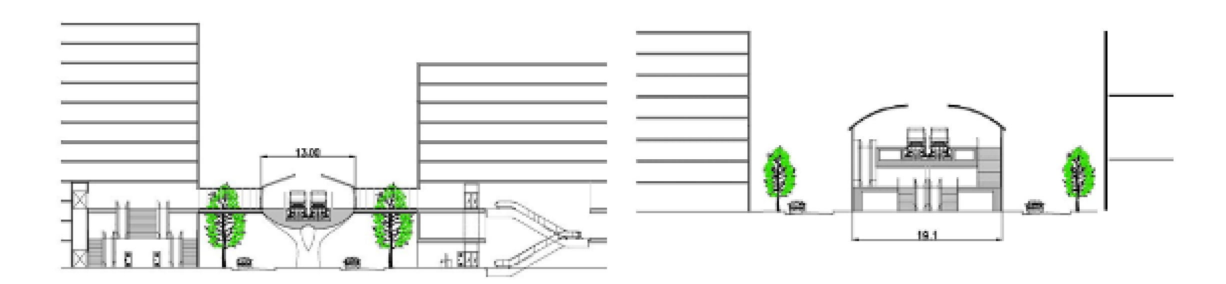


Ejemplos de concepto de viaducto con enfoque sobre los aspectos estéticos - Fuente: SYSTRA

2.6.1.2 Análisis conceptual para estaciones elevadas

SYSTRA identificará la jerarquización de estaciones, dependiendo de su ámbito urbanístico inmediato y extendido, de las oportunidades de integración modal y de su ubicación en la línea de metro.

Basándose en tal jerarquización, SYSTRA definirá grupos de estaciones típicas que tendrán características funcionales similares. SYSTRA analizará conceptualmente la accesibilidad y las funciones para implementar en cada grupo de estaciones típicas.



Ejemplo de estación elevada con vestíbulo para la taquilla en edificios al lado – Fuente: SYSTRA

Ejemplo de estación elevada con vestíbulo para la taquilla debajo de la vía – Fuente: SYSTRA

2.6.2 Esquemas básicos urbanísticos, planos en planta y secciones transversales de las recomendaciones

SYSTRA entregará estas recomendaciones a través de esquemas básicos urbanísticos y planos en planta (escala 1 :1000) y secciones transversales (escala 1 :50), sobre la cartografía disponible en la ciudad que deberá suministrar el equipo técnico del Distrito.

2.6.3 Análisis y conclusiones sobre las opciones de accesos a las estaciones elevadas

Como conclusión de este análisis, SYSTRA indicará las ventajas y desventajas de cada alternativa, dará sus recomendaciones y definirá los criterios y parámetros arquitectónicos y funcionales básicos a considerar en el futuro diseño de las diferentes estaciones elevadas del Tramo 1.

En particular, el acceso a las estaciones elevadas podría volver imposible el cambio de anden (y de sentido de viaje) sin tener que cruzar de nuevo la línea de control. Tal situación podría estar en contradicción con la política tarifaria inicial del proyecto, por lo que será necesario evaluarla con total atención.

• Street Level Plan – Accesses to the Elevated Station

Accesses to the elevated station – Station 6 : University of Commerce Station

Functional Diagram

Fare gates

Stairs and escalator

• Concourse Level Plan

Concourse level plan – Station 6 : University of Commerce Station

Concourse level plan – Station 6 : University of Commerce Station

UNPAID AREA
PAID AREA
TICKETING
SERVICE & TECHNICAL

• Platform Level Plan

Platform level plan – Station 6 : University of Commerce Station

UNPAID AREA
PAID AREA
TICKETING
SERVICE & TECHNICAL

Típicas estaciones elevadas – Planos Systra/Diseño Hanói Metro - Fuente: SYSTRA

2.6.4 Otras consideraciones técnicas relativas a los sistemas a instalar en el viaducto

La instalación de algunos sistemas sobre un viaducto necesita una revisión particular frente al proyecto existente, como por ejemplo:

- Los postes de catenaria tendrían que combinarse con la estructura en hormigón armado.
- Los postes de semáforos necesitan un estudio de visibilidad específica y distinta de la solución planteada para el túnel.
- Los segmentos de viaducto requieren una continuidad de conexión de tierra.
- Los cables alta y baja tensión se distribuyen de manera distinta en túnel y en viaducto.
- El galibo dinámico del tren necesita un estudio diferente al del túnel.
- Los motores de aguja necesitarán un estudio de inserción específica.

Estos cambios necesariamente tendrán un impacto sobre los costes de instalación de estos sistemas.

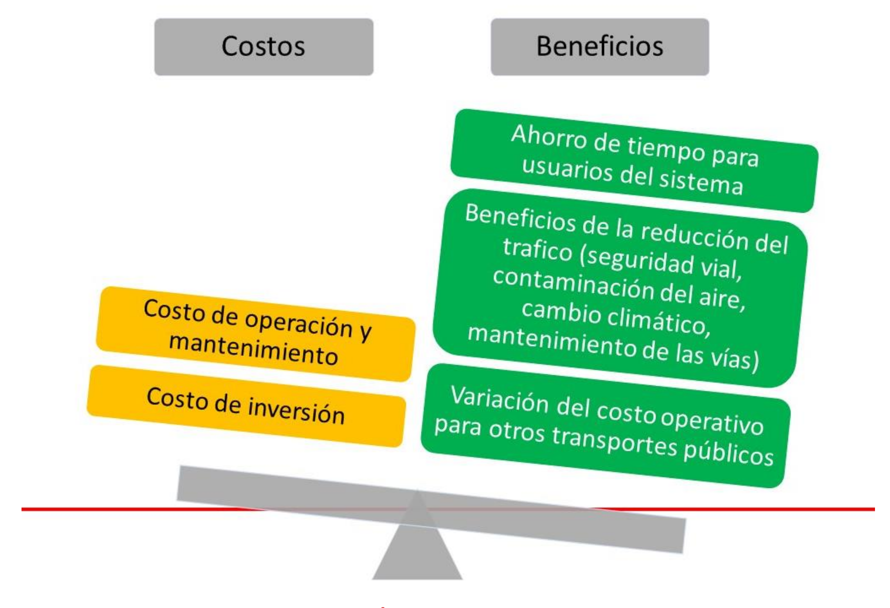
2.7 Beneficios económicos de diferentes opciones de inversión frente al trazado original (entregable N°5)

2.7.1 Definición de la metodología y de los indicadores

La metodología a usar y los indicadores estarán propuestos por SYSTRA basándose en su extensa experiencia en proyectos de transporte internacionales, pero por supuesto discutidos con la FDN y la Gerencia del Proyecto Metro antes que todo.

El análisis costo/beneficio permite determinar el impacto integral del proyecto en la sociedad. Este análisis se desarrollará durante la definición del proyecto y de sus características, buscando elegir el escenario óptimo del proyecto.

El análisis será un balance de los costos y beneficios, con y sin el proyecto de transporte, evaluando los siguientes puntos:



Análisis costos/beneficios - Fuente: SYSTRA

- **Beneficios del proyecto para los usuarios**:
  - Tiempo ganado
  - Ganancias por la disminución del uso del transporte privado (autos)
- **Economías en el mantenimiento de rutas**
- **Economías de operadores de transporte**
- **Beneficios para el resto de la sociedad:**
  - Costo de congestión vehicular
  - Mejora de seguridad vial
  - Beneficios medioambientales (reducción de emisiones, cambio modal)

- **Beneficios económicos más extensos como**: efectos espaciales y de aglomeración, tanto como efectos en la red de transporte, etc. y otros que se definan incluir en el análisis conjuntamente con la FDN y la Gerencia del Proyecto Metro

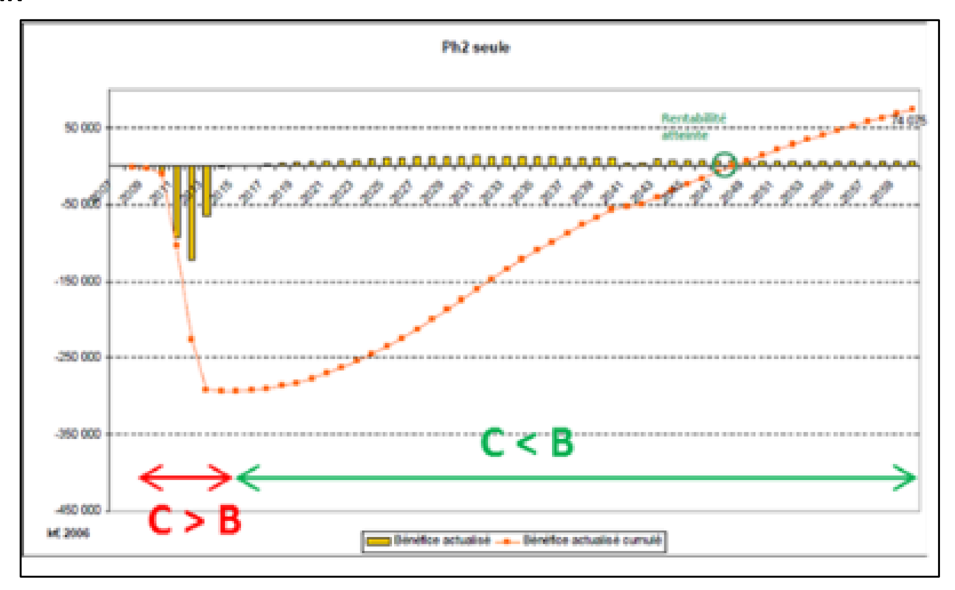
La evaluación socio-económica deberá también evaluar el impacto en el empleo en la construcción y en la operación, directo e indirecto, y en el Producto Interno Bruto. Para este análisis SYSTRA tomará en cuenta la realización en fases del proyecto.

Para el análisis de cada escenario SYSTRA tomará en cuenta:

- **El costo total estimado ya calculado**
- **La demanda de pasajeros** (calculada por el equipo técnico del Distrito)
- **Los tiempos de viajes** (calculada por el modelo del equipo técnico del Distrito)
- **Los costos de operaciones y de mantenimiento a corto, mediano y largo plazo** (plazos para definir con la FDN y la Gerencia del proyecto Metro)

Los indicadores resultado serán:

- **Valor presente neto**
- **Indices acumulados de beneficios y costos**
- **TIR**



Costos y beneficios acumulados – Fuente: SYSTRA

2.7.2 Desarrollo de los escenarios a considerar - Valoración de cada uno de los escenarios y realización de un análisis comparativo

El escenario base es el proyecto de la PLMB original, con su presupuesto desarrollado en la Ingeniería Básica Avanzada.

Para la alternativa que mejor optimiza el diseño existente, SYSTRA determinará:

- La estimación económica del Tramo 1 a nivel preliminar
- La estimación de las troncales de TM que se puedan ejecutar en el mismo marco fiscal en el que fue aprobado el proyecto original de la PLMB (13.79 billones de pesos)

El costo total estimado se profundizará a nivel preliminar para el tramo 1 en esta etapa, basándose en la integración realizada anteriormente. Se basará en el presupuesto ya establecido en primer lugar y será profundizado a nivel preliminar en toda la longitud del tramo, en un rango de +/- 30 %.

2.7.3 Análisis de ventajas/desventajas del desarrollo de la PLMB por tramos

SYSTRA completará esta etapa con el análisis de las ventajas y desventajas de la PLMB por tramos. Será una síntesis de los aspectos técnicos, económicos y financieros ya estimados en las etapas anteriores y actuales.

2.8 Estimación de cronograma y presupuesto (entregable N°7)

2.8.1 Estimación de cronograma

Después de la comparación entre la alternativa que mejor optimiza el diseño existente y el trazado original de los estudios de Ingeniería Básica Avanzada, **SYSTRA desarrollará un cronograma a nivel preliminar.** Este cronograma identificará las etapas del proyecto por venir, que sean etapas de estudios o de ejecución, identificando precisamente el tema de la construcción en tramos. Este cronograma será consistente con el presupuesto correspondiente adjunto, también desarrollado por SYSTRA. Contendrá un plan de ejecución por fases de inversiones de corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con lo descrito a continuación:

2.8.2 Estimación de presupuesto

En relación con el presupuesto de la alternativa que mejor optimiza el diseño existente, partirá de:

- La estimación del tramo 1 a nivel preliminar.
- La estimación de las troncales de TM que se puedan ejecutar en el mismo marco fiscal en el que fue aprobado el proyecto original de la PLMB (13.79 billones de pesos)
- El análisis financiero de la construcción de esa alternativa por tramos

Ahora se plantea tener en cuenta la alternativa que mejor optimiza el diseño existente en su totalidad, cubriendo todos sus tramos y profundizando la estimación económica establecida antes a nivel preliminar, basándose en un estudio más preciso de su integración.

El presupuesto desarrollado por SYSTRA estará basado en el presupuesto establecido antes en los estudios de Ingeniería Básica Avanzada, pero ahora profundizado a nivel preliminar en toda la longitud del tramo, es decir con una variación de entre +/- el 30%.

SYSTRA se basará en los mismos indicadores y precios unitarios, actualizándolos y adaptándolos al caso de la alternativa que mejor optimiza el diseño existente. Cada cambio en el presupuesto será justificado con una argumentación específica de parte de SYSTRA. El presupuesto estará compuesto por los costos de inversión (incluyendo costo de predios y legalizaciones, los estudios a realizar y los aspectos constructivos relacionados con la construcción por tramos), de operación y de mantenimiento y será descompuesto en cada ítem temático.

2.9 Elaboración de la documentación técnica de soporte para el borrador del documento CONPES (entregables N°8)

SYSTRA elaborará la documentación técnica de soporte para el borrador del documento CONPES. No se trata de producir el documento final, sino un borrador con los niveles de interés aquí desarrollados y que permita a la FDN, la Gerencia del Proyecto Metro y el DNP completarlo, a partir de todos los insumos técnicos necesarios.

Este documento tendrá **3 niveles de interés** desarrollados por SYSTRA:

- **Una síntesis del proyecto**, recopilando sus impactos y beneficios y en general, justificando su oportunidad, factibilidad, adecuación del sistema metro a la ciudad, el trazado elegido y el planteamiento de ejecución por tramos.

- **Un resumen de las características y ventajas de la alternativa** que mejor optimiza el proyecto existente.

- **Una trama de las etapas para venir y de los actores a involucrar en la realización del proyecto**

Tendrá la estructura clásica de los documentos CONPES, siguiendo los siguientes capítulos:

- Antecedentes y justificación
- Marco conceptual
- Resultados técnicos relevantes y características del proyecto a implementar
- Costos estimados y cronograma general
- Plan de acción

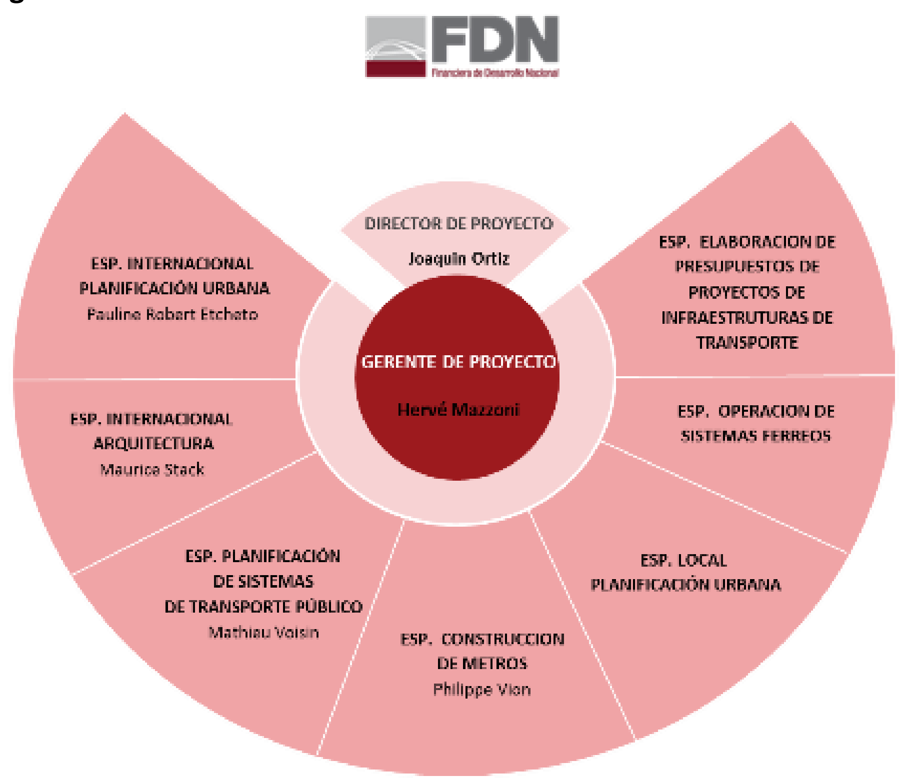
Como el documento CONPES 3677 (Movilidad integral para la región capital Bogotá-Cundinamarca), el borrador podrá también tener un capítulo con los mecanismos de seguimiento de la operación o de las recomendaciones de SYSTRA para el futuro del proyecto. Aquellos capítulos serán discutidos conjuntamente con la FDN y la Gerencia del Proyecto Metro y de ser requerido, sustentados frente al DNP.

2.10 Informe final (entregable N°9)

Este informe compilará todos los entregables anteriores en un solo documento, que incluirá además un resumen ejecutivo de todas las actividades desarrolladas durante el contrato de consultoría.

3. ORGANIGRAMA Y ORGANIZACIÓN DEL ÉQUIPO DE TRABAJO

3.1 Organigrama



Organigrama - Fuente: SYSTRA

3.2 Organización del equipo y reuniones

El equipo que estará a cargo de la realización del presente estudio estará compuesto por los especialistas presentes en el organigrama. Ellos tendrán un grado de involucramiento dependiendo de la importancia de su especialidad en el proceso de elaboración del estudio.

El director y el gerente de proyecto serán los puntos de contacto preferenciales del cliente. Se apoyarán sobre las competencias de los especialistas en cada disciplina relacionada con el contenido del estudio de Metro para la producción técnica.

Los equipos estarán coordinados desde la oficina de SYSTRA en Paris (excepto el Director, colombiano basado principalmente en México) pero las visitas de campo, reuniones y seminarios con la FDN y los involucrados del proyecto se harán en Bogotá. El director de proyecto y el gerente de proyecto estarán

a disposición de la FDN para todas las reuniones telefónicas cuando sea necesario. El gerente de proyecto será encargado de la coordinación del equipo y solicitará la presencia de los especialistas individualmente para cada reunión.

3.3 Relación interinstitucional

SYSTRA preparará y tomará parte en las siguientes reuniones:

- Entrevista con todos los involucrados (lista para preparar con la FDN y la Gerencia del Proyecto).
- Seminarios con todos los actores considerados por la FDN y la Gerencia del Proyecto al principio del estudio, al momento de presentar los resúmenes pedagógicos sobre los componentes del sistema Metro y en el momento del análisis multicriterio.
- La reunión de enfoque al principio del estudio y de clausura al finalizar el mismo.
- Seis comités directivos, para validación de las grandes etapas/actividades del estudio.
- Reuniones de trabajo intermedias en Bogotá o por vía telefónica.

SYSTRA se encargará de la preparación de los documentos soporte de reflexión para cada reunión. En cuanto a la coordinación entre el Consultor y el Distrito, SYSTRA igualmente tendrá la disponibilidad de interactuar directamente con el equipo técnico de la SDM, a partir de la coordinación que determine la FDN y la Gerencia del Proyecto Metro. Igualmente y como se ha mencionado previamente, SYSTRA preparará los elementos para el cálculo de la demanda por parte del equipo del Distrito y mantendrá informada al respecto a la FDN y a la Gerencia del proyecto.